

## Plants for MSW treatment: Anaerobic Digestion *versus* Incineration

José de Souza<sup>1</sup>, Bárbara Benedeti Rodrigues<sup>2</sup>, Renata Tondin<sup>3</sup>, Clayton André de Oliveira Motta<sup>4</sup> Lirio Schaeffer<sup>5</sup>

### Abstract

This paper presents the results of a study to compare the biodigestion and incineration processes. The cases were analyzed in contributing to the greenhouse effect, use of feedstock, by-products and generated energy. In order to identify the best treatment process and reuse of municipal solid waste (MSW) comparisons and analyzes were performed. As the results of a comparison of the advantages and disadvantages of the processes were presented.

**Keywords:** Anaerobic Digestion, Incineration, Power generation.

## Usinas para tratamento de RSU: Biodigestão Anaeróbia *versus* Incineração

### Resumo

Este artigo apresenta os resultados de um estudo que teve por finalidade verificar os processos de biodigestão e incineração e compará-los quanto aos fatores: contribuição para o efeito estufa, utilização de matéria prima, subprodutos gerados e energia gerada a fim de identificar qual o melhor processo de tratamento e reutilização de resíduos sólidos urbanos (RSU). Como resultado é apresentado uma comparação de vantagens e desvantagens dos processos.

---

<sup>1</sup> Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil [josouza@liberato.com.br](mailto:josouza@liberato.com.br)

<sup>2</sup> Faculdades Integradas de Taquara – FACCAT – Taquara – RS – Brasil - [benedetibarbara1@gmail.com](mailto:benedetibarbara1@gmail.com)

<sup>3</sup> Faculdades Integradas de Taquara – FACCAT – Taquara – RS – Brasil - [retondin@gmail.com](mailto:retondin@gmail.com)

<sup>4</sup> Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil [clayton.motta@yahoo.com.br](mailto:clayton.motta@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil [schaeffer@ufrgs.br](mailto:schaeffer@ufrgs.br)

**Palavras chave:** Biodigestão Anaeróbia, Incineração, Geração de energia.

## 1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos orgânicos (RSU) representam um dos mais graves problemas ambientais do mundo moderno com tendência de aumentar com a população e a atividade econômica. Segundo DIAS (2006) vários países membros de União Europeia tiveram mudanças na legislação que envolveu diretamente a gestão do (RSU). Acordos internacionais de redução de emissão dos gases do efeito estufa têm sido um dos fatores a estimular a recuperação de resíduos.

De toda a energia elétrica resultante da incineração, de 10 a 15% autossustenta a usina incineradora, sendo a energia excedente remetida para a rede elétrica. Em Portugal, no ano de 2008, por exemplo, foram incineradas 384 mil toneladas de resíduos, permitindo a produção de 191 GWh de energia elétrica, suficiente para abastecer uma população de 150 mil habitantes. Já no Brasil, a partir do processo de biodigestão, são geradas aproximadamente 650 mil toneladas de metano por ano, produzindo a potência elétrica de 300 MW.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo que teve por finalidade verificar os processos de biodigestão e incineração e compará-los quanto aos fatores: contribuição para o efeito estufa, utilização de matéria prima, subprodutos gerados e energia gerada a fim de identificar qual o melhor processo de tratamento e reciclagem de resíduos sólidos urbanos.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 Tecnologias de biodigestão

Em plantas de biogás um aspecto relevante é a integração entre as tecnologias empregadas. Significa dizer que os componentes como biorreatores, controle de

carga, mistura, acionamento e outros garantem maior funcionalidade do processo de geração de biogás (SOUZA *et al.*, 2014). Equipamentos integrados de fornecedores únicos pressupõem testes de desempenho e avaliações do funcionamento do sistema. A aquisição de plantas inteiras implica na responsabilidade no início de operação do equipamento para o fabricante do mesmo (HANDREICHUNG BIOGASGEWINNUNG UND NUTZUNG, 2004).

A geração de biogás pode ser realizada por meio de diferentes tecnologias. As técnicas empregadas dependem de critérios que são estabelecidos pelo tipo de biodigestão a ser empregada. A tabela 1 apresenta uma classificação de algumas formas de geração de biogás empregadas na Alemanha.

Tabela 1. Classificação das técnicas de geração de biogás conforme diferentes critérios.

Critério	Tipo
Teor de matéria seca dos substratos	- biodigestão úmida; - biodigestão seca;
Tipo de alimentação	- descontínua; - semicontínua; - contínua;
Nº de fases do processo	- uma fase; - duas fases;
Temperatura do processo	- psicofílico; - mesofílico; - termofílico.

Fonte: (Adaptado de HANDREICHUNG BIOGASGEWINNUNG UND NUTZUNG, 2004).

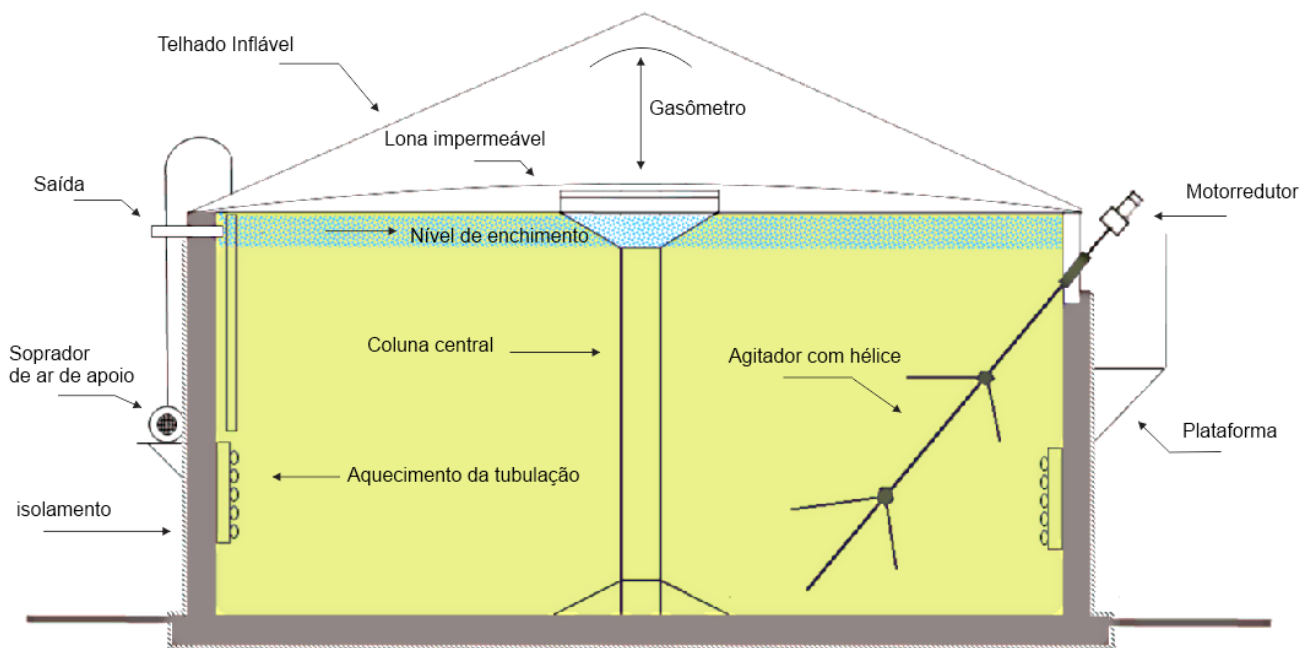
A forma como se apresentam os substratos depende do seu teor de matéria seca, isso foi considerado na classificação em dois diferentes tipos de biodigestão a de matéria seca e a de matéria úmida conforme tabela 1. A biodigestão úmida é realizada com materiais que podem ser transferidos por bombeamento de um ambiente para outro o que exige certa umidade do material. Já na fermentação a seco o substrato é depositado de forma estática sem mistura ou transferência de

ambientes, é apenas acumulado.

Os biodigestores anaeróbios mais comuns usados em larga escala são construídos de metal, chapas de aço, concreto e lona plástica, geralmente PEAD (Polietileno de alta densidade) (SOUZA; SCHAEFFER, 2013). O modelo de biorreator depende do processo de fermentação adotado. Na biodigestão do substrato podem ser utilizados os processos de mistura completa, onde todo o material é misturado em sua totalidade, fluxo pistonado com biorreatores horizontais ou tubulares e os processos especiais como o batelada, geralmente empregado com substrato seco.

Boa parte das plantas de biogás na Europa e EUA se utiliza da mistura completa em biorreatores cilíndricos em posição vertical. Na Alemanha, em 2009, esse modelo totalizava cerca de 90% do total das plantas de biogás (OECHSNER; LEMMER, 2009). Esses biorreatores são dotados de reservatório com fundo rígido de concreto e paredes de aço, concreto armado ou ainda materiais especiais como polímeros rígidos, PEAD (Polietileno de alta densidade). Pode ser parcial ou totalmente enterrado ou ser posicionado completamente sobre o solo. Na figura 1 pode-se observar o aspecto construtivo deste modelo.

Figura 1. Biorreator de mistura completa com agitador e demais tecnologias.



Na tabela 2 são abordados alguns aspectos de biodigestores com mistura completa.

Tabela 2. Características de biorreatores com mistura completa.

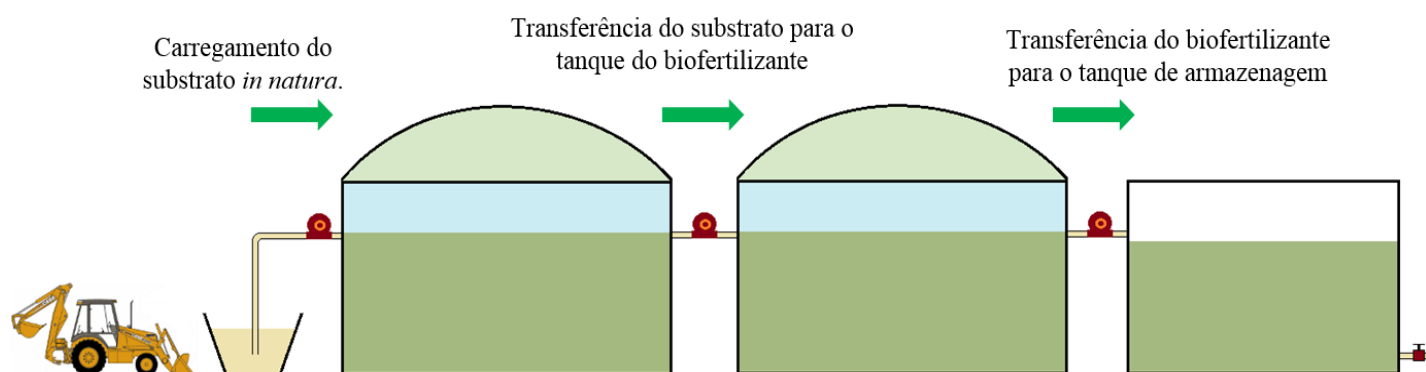
Dimensionamento e material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estes biorreatores permitem dimensões para capacidades de até 6.000 m<sup>3</sup>;</li> <li>• Biorreatores normalmente fabricados em aço ou em concreto;</li> </ul>
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biorreator utilizado para quase todos os tipos de substrato com baixo ou médio teor de matéria seca;</li> <li>• Equipamentos de transporte e agitação devem ser adaptados ao substrato;</li> <li>• Possibilidade de recirculação em caso de digestão única de biomassa dedicada;</li> <li>• Biorreatores adequados para alimentação contínua, semicontínua e descontínua;</li> </ul>
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biorreatores com arquitetura de baixo custo quando volumes superiores a 300 m<sup>3</sup>;</li> <li>• Permite operação variável entre regime de fluxo contínuo ou regime combinado de fluxo contínuo e armazenamento;</li> <li>• Conforme o tipo dos equipamentos, sua manutenção pode ser realizada sem exigir o esvaziamento do biorreator;</li> </ul>
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é possível afirmar com certeza o TRH;</li> <li>• Possibilidade de formação de sobrenadante e de sedimentos;</li> </ul>
Formas construtivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os reservatórios são cilíndricos enterrados verticalmente ou acima do solo;</li> <li>• Os equipamentos de agitação devem ter potência elevada, pode-se utilizar recirculação através da injeção do biogás;</li> <li>• Agitadores com motor submersível no interior do biorreator, agitador axial em tubo guia vertical, recirculação hidráulica com bombas externas, recirculação por injeção de biogás em tubo guia vertical.</li> </ul>

Fonte: (Adaptado de SCHULZ; EDER, 2006).

No sistema de biodigestão contínuo o substrato é carregado no biorreator inicial,

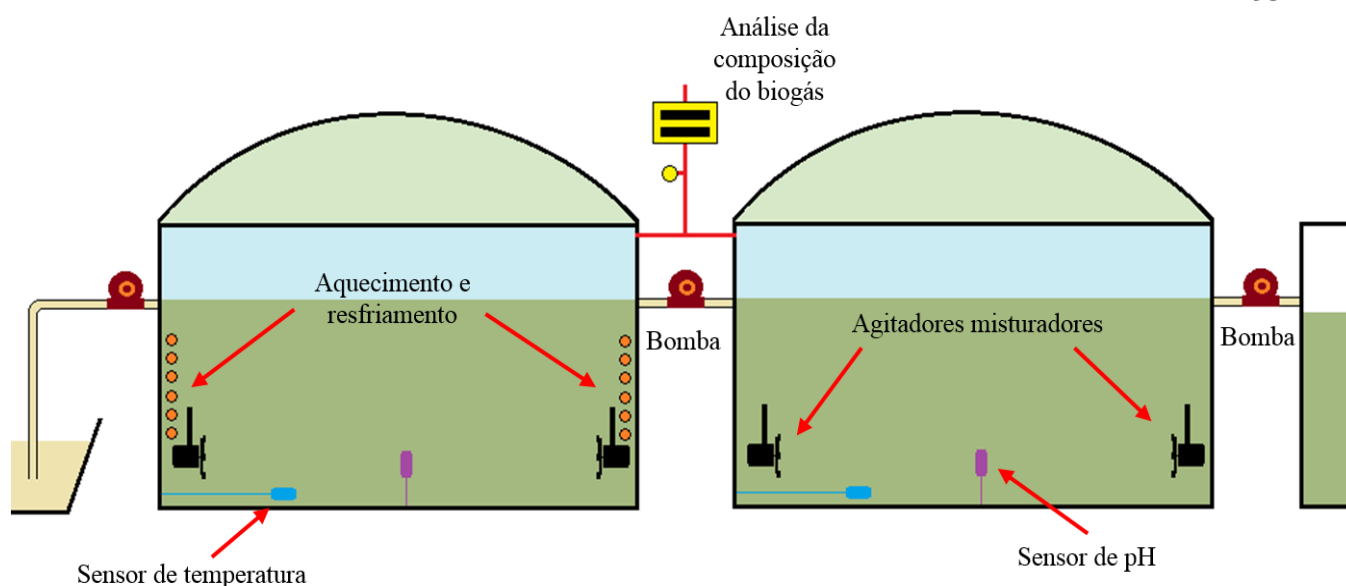
passa para um segundo tanque de biofertilizante e é descartado em um tanque aberto. O sentido de fluxo da planta pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – Sentido de fluxo da planta de biogás.



Uma usina de biodigestão deve contar com controle de pressão, vazão, nível e temperatura e pH. Possuir sistema de misturadores - agitadores, leitura de composição do biogás e bombeamento do substrato. Na figura 3 pode ser visto a disposição de dispositivos para controle da usina.

Figura 3. Dispositivos atuadores e sensores.



O biogás pode ser considerado uma fonte de energia renovável, com várias vantagens sociais, ambientais, estratégicas e tecnológicas (COELHO *et al.*, 2014). O aproveitamento do biogás, produto obtido a partir da decomposição da matéria orgânica como RSU esgotos residenciais entre outros, para geração de energia elétrica, ocasiona uma redução no potencial de poluição do meio ambiente. Os processos de decomposição da matéria orgânica em aterros de resíduos sólidos urbanos resultam na geração de gases tóxicos que podem vir a afetar diretamente o meio ambiente (SANTOS, 2009).

Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico. Esses parâmetros determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H<sub>2</sub>S (ácido sulfídrico) e da umidade. O correto dimensionamento desses, tem como propósito, evitar futuras manutenções aos equipamento da instalação e aumentar seu poder calorífico (NOGUEIRA, 1986).

Os dois principais gases constituintes do biogás são o metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são considerados gases do efeito estufa que contribuem para o aquecimento global. Destaca-se que o gás metano, presente no biogás bruto, é o principal gás causador do efeito estufa. De fato, o metano é mais potente que o dióxido de carbono, com um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2001). Assim com a combustão na usina de biodigestão podemos considerar que o biogás bruto sofrerá uma diminuição considerável na emissão dos gases que o compõem e contribuem para o efeito estufa (NOGUEIRA, 1986).

O biogás é obtido durante a digestão anaeróbia (DA) processo que pode ser definido como a conversão de material orgânico em dióxido de carbono, metano e lodo

através de bactérias, em um ambiente pobre em oxigênio. Esse processo é uma das formas mais antigas de digestão e ocorre naturalmente na ausência de oxigênio, como em plantações de arroz, águas paradas, estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários (WILLUMSEN, 2001).

A digestão anaeróbica é consequência de uma série de interações metabólicas com a atuação de diversos grupos de microrganismos. O biogás pode ser consumido diretamente, situação em que apresenta poder calorífico entre 4.500 e 6.000 kcal/m<sup>3</sup>, ou tratado para separação e aproveitamento do metano, cujo poder calorífico é semelhante ao do gás natural (VERMA, 2002).

A produção de metano ocorre em um espectro amplo de temperaturas, mas aumenta significativamente em duas faixas, ditas mesofílica - entre 30-40°C, e termofílica - entre 50-60°C. Em termos elétricos, considerando eficiência de 35% na conversão de energia térmica para energia elétrica, podem ser obtidos entre 120 e 290 kWh por tonelada de RSU. Os valores dependem do conteúdo energético do resíduo (proporção de metano no gás produzido pela DA) (PAES, 2003).

Uma pesquisa desenvolvida por Silva (1983) *apud* Percora (2006) mostrou que de acordo com a quantidade de metano no biogás, o seu poder calorífico aumenta, pois o CO<sub>2</sub>, o outro produto da DA, é a forma mais oxidada do carbono, não podendo ser mais queimado. A tabela 3 mostra a quantidade a que equivale 1 Nm<sup>3</sup> (onde N significa a condição padrão do gás: 1,013 bar de pressão, 0 graus centígrados de temperatura e 0% de umidade relativa do ar) de biogás, cujo poder calorífico é em média 5.500kcal.

Tabela 3. Relação de diferentes elementos com a quantidade equivalente a 1 Nm<sup>3</sup> de biogás.

Combustível	Quantidade Equivalente a 1 Nm <sup>3</sup> de biogás
Carvão Vegetal	0,8 Kg



Lenha	1,5 Kg
Óleo Diesel	0,55 L
Querosene	0,58 L
Gasolina Amarela	0,61 L
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	0,45L
kWh	1,43
Álcool Carburante	0,8 L
Carvão Mineral	0,74 Kg

O poder calorífico do biogás depende basicamente da porcentagem de metano nele existente. O metano puro, em condições normais de temperatura (0 °C) e pressão (1atm), possui um poder calorífico de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>, enquanto o biogás com concentração variando entre 50% e 80% de metano tem um poder calorífico inferior de 4,95 a 7,9 kWh/m<sup>3</sup> (MAGALHÃES, 2004 *apud* CCE, 2000).

Conforme Ensinas (2003) com base na metodologia sugerida no IPCC (1996 - *International Panel on Climate Change*) a partir de dados estatísticos de população e fatores estimados de geração de resíduos, foi possível estabelecer uma quantidade de emissões de gás metano por resíduos sólidos no Brasil. No país, são geradas aproximadamente 60.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia com uma taxa de coleta de 80%. A capacidade de produção, estima-se ser em média de 650.000 toneladas de metano por ano, chegando a atingir, no ano de 1994, 677.000 toneladas. Para geração de energia elétrica no Brasil com RSU estima-se uma potência elétrica de aproximadamente 300 MW (HENRIQUES, 2004).

É importante enfatizar que o aproveitamento energético do metano gerado em aterros requer valores mínimos de produção para que seja viável economicamente. Portanto é interessante que as taxas de degradação do material sejam aumentadas, o que pode ser realizado, por exemplo, com a reinjeção do chorume no aterro, que aumenta o teor de umidade da massa de lixo e acelera as reações de degradação (ENSINAS, 2003).

Após a biodigestão temos a formação do biogás, no momento em que o sistema for reabastecido, com matéria orgânica para ser degradada, haverá o deslocamento da biomassa fermentada em meio aquoso para a caixa de descarga, esse material é o chamado biofertilizante. O biofertilizante possui alta concentração de nitrogênio e baixa concentração de carbono. Este fato é devido à biodigestão a qual ocorre dentro de um biodigestor, que libera o carbono em forma de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , deixando-o rico em nutrientes. Uma das principais vantagens do uso de biofertilizantes na agricultura é o baixo custo. Os biofertilizantes não geram problemas referentes à salinização do solo e muito menos níveis de desestruturação como ocorre com o uso de fertilizantes químicos (MEDEIROS, 2006).

## **2.2. Incineração**

A incineração é o processo de destruição de resíduos através da combustão. Não é um sistema que pode ser utilizado com todos os materiais, é necessária a separação de resíduos antes do processo. Se utilizados resíduos com grande potencial energético, há conversão de energia em energia elétrica (DIAS, 2006).

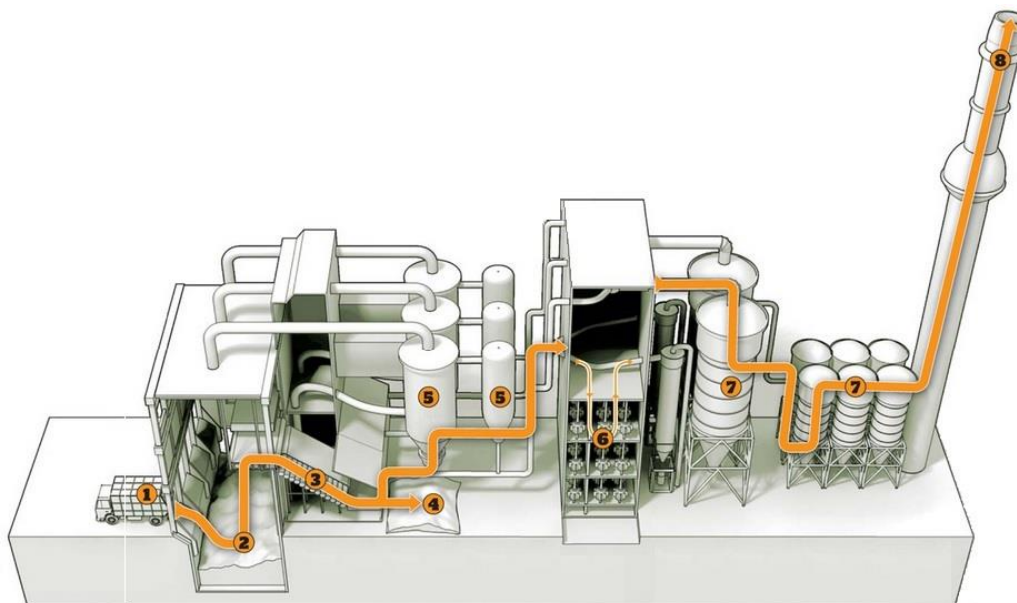
Uma vantagem da incineração pode ser o fato de que ela reduz a 95% o volume e 70% do peso dos resíduos. Além disso, ela é ideal para a destruição de resíduos hospitalares, alimentos estragados e remédios fora do prazo de validade, pois destrói os microrganismos patogênicos que poderiam ser prejudiciais a saúde (DIAS, 2006). Por outro lado, a incineração pode ter suas desvantagens, uma vez que durante o processo ocorre a liberação de substâncias que podem ser nocivas ao ambiente e a população. Além de vapor de água, cinzas e escória, o processo de incineração também libera muitos gases contribuintes para o efeito estufa e ameaçadores à saúde humana.

Conforme Dias (2006) os tipos de gases mais danosos no processo de incineração são as dioxinas, pois as mesmas continuariam existindo mesmo após a incineração, em forma de cinzas suspensas no ar. Muitos são os métodos para o controle das emissões do incinerador como: precipitador eletrostático, injeção absorvente adesiva, spray secante, filtro de tecido ou uma sequencia de mais de um desses métodos (USEPA, 1995).

Antes de iniciar o processo de incineração é preciso fazer a separação da matéria prima, pois nem todo o resíduo pode ser incinerado. Existem quatro tipos de resíduos passíveis de incineração: urbanos, industriais, hospitalares e florestais. Os resíduos urbanos e florestais são os menos perigosos e mais utilizados como geradores de energia térmica e elétrica. Os industriais são parcialmente perigosos devido às substâncias utilizadas nos processos produtivos, ainda sim geram eletricidade, gás e água. Os resíduos hospitalares por apresentarem riscos biológicos, alguns em seu nível de perigo máximo, são classificados como de incineração obrigatória (XARÁ, 2009).

Mesmo após essa classificação, os resíduos são separados novamente dentro das unidades de incineração. Na incineradora de RSU Valorsul localizada em Portugal, os resíduos são separados em recicláveis e posteriormente enviados a recicladores. E os orgânicos, quando de boa qualidade são submetidos a processos de compostagem e digestão anaeróbica para serem usados como fertilizante na agricultura. Os resíduos indiferenciados, que não são passíveis de reciclagem são enviados para o incinerador. Na figura 4 é possível observar um modelo de usina de incineração.

Figura 4. Usina de incineração.



O processo inicia com o caminhão (1) que descarrega os resíduos no reservatório (2). Os resíduos são acomodados na esteira (3) onde são e queimados junto ao ar a temperaturas de 900°C à 1200°C (PUNA; BAPTISTA, 2008). Segundo Puna e Baptista (2008), as resultantes da incineração são gases de combustão, vapor de água, cinzas e escórias. As cinzas e escórias ficam depositadas no final da queima (4) e posteriormente são enviadas para aterros, e a as escórias, quando possível para reciclagem.

O vapor e o calor são encaminhados para as caldeiras (5). Quando a incineradora é acoplada a uma cogeneradora, o vapor da água passa por turbinas (6) que geram energia. Puna e Baptista (2008) afirmam que 10 a 15% de toda a energia elétrica gerada em uma unidade de incineração auto sustentam a própria incineradora, sendo o restante enviado para a rede elétrica nacional. Os gases gerados são em sua maioria tóxicos, por isso, as incineradoras devem ser dotadas de sistemas eficientes de tratamento de gases de combustão. Ao sair das turbinas o vapor passa por filtros (7) que o separa da fumaça e eliminam partículas tóxicas. Por fim, essa

fumaça é enviada para uma chaminé, podendo ser controlada ou não, e solta no meio ambiente.

Segundo Lemos (2013), a unidade de incineração de RSU Lipor II, considerada referencia no ramo, possui área de influência de 0,66% da superfície de Portugal e recebe 19,5% dos RSU produzidos no país. Levando-se em conta a determinação do seu potencial energético, duas possibilidades são consideradas no que se refere à recuperação de energia: produção exclusiva de eletricidade e produção conjunta de eletricidade e de calor através de cogeração. Segundo Xará (2009) a Lipor II incinerou em 2008, 384 mil toneladas de resíduos, o que permitiu a produção de 191 GWh de energia elétrica, suficiente para abastecer uma população de 150 mil habitantes.

### 3. COMPARAÇÃO DE TECNOLOGIAS

#### 3.1 Matéria-prima

Na tabela 4 é possível fazer a comparação entre as matérias primas utilizadas nos processos em estudo.

Tabela 4. Comparação da matéria prima.

	Biodigestor	Incinerador
Matéria prima	Cascas de careais Esgotos residenciais Restos de comida Excrementos Restos vegetais	Resíduos hospitalares (sangue, gases, curativos, agulhas, químicos, farmacêuticos, radiotivos) Resíduos sólidos urbanos Resíduos industriais
Necessita separação do resíduo?	Sim	Sim
Matéria prima que não deve/pode ser usado no processo	Metais ferrosos Metais não-ferrosos Vidros Cerâmicas Polímeros	Metais ferrosos Metais não-ferrosos Vidros Cerâmicas Polímeros

Observa-se que na biodigestão a matéria prima passível desta decomposição

biológica também chamada de biomassa, é a matéria orgânica e podemos encontrar em todo o planeta em abundância. Não podem ser utilizados como matéria prima metais, vidros, cerâmicas e polímeros, pois são matérias inorgânicas, e uma vez que o processo ocorre através da decomposição de matérias orgânicas.

Enquanto isso o processo de incineração, utiliza principalmente os resíduos hospitalares, como seringas, drogas, remédios vencidos, materiais contaminados e resíduos industriais. Também é possível fazer a combustão dos resíduos urbanos. Um dos problemas dos dois processos é que ambos exigem a separação dos resíduos antes de colocá-los no processo. A incineração não é indicada para polímeros, pois a sua queima libera muitos produtos tóxicos, como por exemplo, na queima do PVC, HCl é lançado na atmosfera, o que pode causar a chuva ácida. Atualmente a reciclagem é caminho mais viável para a recuperação desse tipo de resíduo (FRANCHETTI, 2006). Do ponto de vista energético, não é vantajosa a queima de vidros, cerâmicas e metais, conforme Paro (2008) seu poder calorífico é muito baixo, isso deve ao fato da sua composição possuir muita água. Além disso, os metais pesados continuam existindo e são lançados junto com os gases pela chaminé do incinerador, ficam presentes nas cinzas e nas escórias.

### 3.2 Resultados

Na tabela 5 estão dispostos as resultantes e subprodutos dos processos em estudo.

Tabela 5. Subprodutos gerados.

	Biodigestor	Incinerador
Gases	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) Metano (CH <sub>4</sub> ) Nitrogênio (N <sub>2</sub> ) Oxigênio (O <sub>2</sub> )	Óxido Nitroso (Nox) Monóxido de Carbono (CO) Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) Oxigênio (O <sub>2</sub> ) Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ) Cloreto de Hidrogênio (HCl) Gases Ácidos
Outros	Biofertilizante	Vapor

Potássio (K) Nitrogênio (N) Fósforo (P)	Cinzas Escórias
---	--------------------

Apesar da drástica redução de volume e peso após o processo de incineração, os resíduos não deixam de existir, apenas tomam formas diferentes. São transformados em vapor, gases, cinzas e escórias. Pode-se dizer que o único resíduo vantajoso é o vapor, que é utilizado na geração de energia elétrica. Os gases, as cinzas e escórias possuem as características do RSU gerador delas, quanto mais tóxico eles forem, mais tóxicos os subprodutos serão. Ao serem lançados no ar, contribuem para a degradação do meio ambiente e oferecem riscos a saúde-humana.

No processo de biodigestão também são gerados gases contribuintes para o efeito estufa, mas em bem menos quantidade, a geração de metano, por exemplo, é de 10 vezes menor do que na incineração. Uma vantagem da biodigestão é que dependendo da matéria prima utilizada como resíduo em seu processo, obtém-se o biofertilizante, rico em nutrientes, utilizado na agricultura como opção de baixo custo. Os biofertilizantes não geram problemas referentes à salinização do solo e muito menos níveis de desestruturação como ocorre com o uso de fertilizantes químicos.

### 3.3 Energia gerada

Segundo estudo realizado por Paro (2008) segue na tabela 6 a porção dos resíduos no lixo e o poder calorífico específico de cada um deles. O poder calorífico proporcional é o poder calorífico específico proporcional à quantidade de cada tipo de resíduo.

Tabela 6. Composição do RSU.

	Porção %	Poder Calorífico Específico (kJ/kg)	Poder Calorífico Proporcional (kJ/kg)
Orgânicos	48	5.706	2739
Metais ferrosos	3	0	0

Metais não-ferrosos	2	0	0
Papel	16	13941	2231
Papelão	6	13702	822
Plásticos	12	30478	3657
Vidro	2	0	0
Outros	11	6643	731
TOTAL	100	-	10.180

Paro (2008) também mostra a energia elétrica gerada pelos dois sistemas, na tabela 5 é possível visualizar a comparação. No estudo o autor afirma que a vida útil de um biodigestor é de 60 anos, sendo 20 anos do biodigestor mais 40 anos de cuidados com o aterro onde os restos dos processos são colocados, enquanto que de um incinerador é de 20 anos.

Tabela 7. Geração de Energia Elétrica.

	Biodigestor	Incinerador
Poder Calorífico do RSU	10.180 kJ/kg	10.180 kJ/kg
Montante de energia elétrica ao longo da vida útil do sistema	1.138.277.517 kWh	4.134.720.000 kWh
Energia elétrica gerada de RSU (1 hora)	6.497 kWh	23.600 kWh
Volume total de CO <sub>2</sub>	929 ton	9.773 ton

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A separação da matéria prima é necessária em ambos os processos, biodigestão e incineração. Materiais ferrosos e não ferrosos, plásticos, vidros e cerâmicas devem ser removidos dos resíduos antes de coloca-los nos processos. Resíduos orgânicos como restos de comida, casacas, etc., podem ser utilizadas nos dois tipos de processos.

Uma vantagem da biodigestão é a de decomposição de esgotos residenciais, matéria prima que não se adequa à incineração. Essa por sua vez pode ser usada para a queima de resíduos hospitalares e industriais, o que se torna inviável para o biodigestor, uma vez que seria necessário um processo de desinfestação da matéria prima antes de coloca-la em processo.



Quanto aos subprodutos, a incineração mostrou liberar mais tipos de gases e em maiores quantidades do que a biodigestão. O volume de CO<sub>2</sub> liberado pela incineração é em torno de 10 vezes. Junto com os gases liberados libera vapor de água utilizado na geração de energia, cinzas e escórias, que podem ser dispostas em um aterro ou ainda enviadas para reciclagem.

Entre as resultantes da biodigestão, estão o biogás, utilizado na geração de energia e o resíduo remanescente, que dependendo da sua composição pode ser utilizado como biofertilizante. Quando isso não ocorre, o resíduo deve ser levado para um aterro e tratado pelo tempo for necessário, pois o mesmo ainda possui algum poder calorífico.

Uma usina de incineração apresenta sua geração de energia elétrica cerca de 4 vezes superior comparada ao biodigestor, isso acontece porque no incinerador ocorre a queima direta do resíduo, todo poder calorífico e carbono presentes nele estão sendo queimados para geração de energia elétrica. Enquanto que o biodigestor gera o biogás, que posteriormente, gerará energia elétrica.

## **5. CONCLUSÃO**

Apesar do processo de incineração ser mais vantajoso em relação à destruição de resíduos hospitalares e remédios fora do prazo de validade, que poderiam ser prejudiciais à saúde, a utilização de biodigestores na produção de biogás resultante da decomposição de matérias orgânicas, torne-se a fonte de energia renovável menos prejudicial ao meio ambiente e à população, se comparada com a emissão de gases tóxicos gerados pela incineração, tais como o metano e o dióxido de carbono, principais contribuidores para o aumento do efeito estufa.

Ademais, a biodigestão não só favorece a diminuição de emissão dos principais

gases que geram o efeito estufa e acarreta na produção de energia elétrica, como também se destaca por outro aspecto de suma importância para a agricultura, o biofertilizante.

Da biodigestão advém, como subproduto, o biofertilizante, substância de alta concentração de nitrogênio e baixa concentração de carbono, cujo processo de liberação em forma de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> provocado pelo biodigestor, deixa-o rico em nutrientes e contribui para a agricultura de baixo custo.

## REFERÊNCIAS

COELHO, M. A, A; SOUZA, J.; SCHAEFFER, L; ROSSINI, E. G. **Study on the economic viability of hi-tech biogas plants.** Revista Espacios. Vol. 35 n°(3) 2014.

Pág. 02. Disponível em <http://www.revistaespacios.com/> Caracas – Venezuela, 03/2014.

DIAS, F. P. **A incineração de resíduos sólidos: análise custo benefício do incinerador de resíduos sólidos do P-Sul – DF.** 2006. 81 f. Dissertação de Mestrado em Economia -Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no Aterro Sanitário Delta em Campinas-SP.** 2003. 143 f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. **Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos.** Química Nova, v. 29, n. 4, p 811-816, 2006.

HANDREICHUNG BIOGASGEWINNUNG UND NUTZUNG **Institut für Energetik und Umwelt GmbH Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Kuratorium**

für **Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft** e. V. Leipzig, 2004.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. 2004. 189 f. Dissertação de Mestrado - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

IPCC – **Intergovernmental Panel on Climate Change**; Climate Change 2001: Synthesis Report - A contribution of working groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: Cambridge, 2001.

LEMOS, L. T. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: qual a melhor opção de aproveitamento energético?** Millenium online, n.7, Viseu, 2013. Disponível em: < <http://www.ipv.pt/millenium/>> Acesso em: 15 abr. 2013.

MAGALHÃES, E. A. *et. al.* **Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO<sub>2</sub> contido no biogás**. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 26, no. 1, p. 11-19, 2004.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. Agrícola, Bahia, v.7, n.3, p. 24-26, nov. 2006.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão, a alternativa energética**. Editora Nobel, p.1-93. São Paulo, 1986.

OECHSNER, H., LEMMER, A. **Was kann die Hydrolyse bei der Biogasvergärung leisten?** pp. 37 – 46, VDI-Berichte 2057, 2009.

PAES, R. F. C. **Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca – PE**. 2003. 150 f. Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

PARO, A. C., COSTA, F. C., COELHO, S. T. **Estudo comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração.**

Revista Brasileira de Energia, v.14, n 2, p. 113-125, 2008.

PERCORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso.** 2006. 153 f. Dissertação de Mestrado - Programa de

Interunidades de Pós- Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PUNA, J. F. B.; BAPTISTA, B. S. **A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos - perspectiva ambiental e econômico-energética.** Química Nova, v.31, n.3, p.645-654, 2008.

SANTOS, N. S. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na estação de tratamento de esgotos de Madre de Deus – Bahia.** 2009. 61 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergia) – Faculdade de Tecnologia e Ciências, Salvador, 2009.

SCHULZ, H.; EDER, B.: **Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel.** 2ª edição revista e ampliada, Editora Ökobuch, Staufen bei Freiburg, 2006.

SOUZA, J.; PFINSTAG, M. E; SCHAEFFER, L; ROSSINI, E. G. **A method for biogas plants design.** Revista Espacios. Vol. 35 n°(6) 2014. Pág. 6. Disponível em <http://www.revistaespacios.com> Caracas – Venezuela, 06/2014.

SOUZA, J. D; SCHAEFFER, L. **Sistema de compresión de biogas y biometano.** Revista Información tecnológica. Vol.24 n°.6. Disponível

em [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642013000600002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600002&lng=es&nrm=iso&tlng=es) La Serena – Chile, 2013.

USEPA – **Compilation of MWC dioxin data", Office of Air Quality Planning and**

**Standards**, July 27, 1995.

VERMA, S. **Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes**. *Department of Earth & Environmental Engineering*. Columbia University, 2002.

XARÁ, S. **A Incineração de Resíduos em Portugal**. Periódico do CIEDA e do CIEJD, em parceria com GPE, RCE e o CEIS20. Portugal, n.1, dez 2009.

WILLUMSEN, H. C. **Energy recovery from land fill gas in Denmark and worldwide**. LG Consultant, 2001.